

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **08155506 A**

(43) Date of publication of application: **18.06.96**

(51) Int. Cl. **B21B 27/00**  
**B23K 26/00**  
**B23K 26/06**  
**H01S 3/121**

(21) Application number: **06324013**

(22) Date of filing: **02.12.94**

(71) Applicant: **NIPPON STEEL CORP**

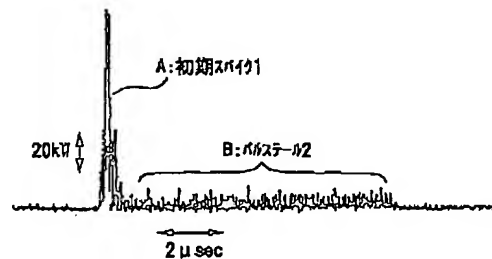
(72) Inventor: **KOBAYASHI TAKAMICHI**  
**HAMADA NAOYA**  
**WAKASA KAZUNORI**

(54) **METHOD FOR DULL WORKING OF SURFACE OF COLD ROLL** COPYRIGHT: (C)1996,JPO

(57) Abstract:

**PURPOSE:** To rapidly achieve the deep hole dull working by a laser beam oscillator by repeatedly using the pulse laser consisting of the initial spike part and the pulse tail part in a method to achieve the dull working of the roll surface for the cold rolling using the pulse laser.

**CONSTITUTION:** A laser beam oscillator is the Q-switch CO<sub>2</sub> laser having a Q-switch device consisting of a telescopic lens and a rotary chopper in a resonator, and the laser pulse emitted from the oscillator is the pulse consisting of the initial spike 1 part and the pulse tail 2 part. This pulse is 1-30 $\mu$ sec in the full width of the pulse, 5-300kW in the peak power, and 0.4-40kHz in the pulse repeating frequency, and the dull working of 120-350 $\mu$ m in the outer diameter D of the hole to be worked, 8-40 $\mu$ m in depth (d), and at the interval of 1.5D-5D in the pitch P is achieved by irradiating the laser of 40MW/cm<sup>2</sup> to 1.0GW/cm<sup>2</sup> in the convergence peak power intensity.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-155506

(43) 公開日 平成8年(1996)6月18日

(51) Int.Cl. <sup>8</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
B 2 1 B 27/00	B			
B 2 3 K 26/00	J			
	E			
26/06	E			
H 0 1 S 3/121				

審査請求 未請求 請求項の数 3 F D (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平6-324013

(22) 出願日 平成6年(1994)12月2日

(71) 出願人 000006655

新日本製鐵株式会社

東京都千代田区大手町2丁目6番3号

(72) 発明者 小林 尊道

神奈川県相模原市淵野辺5-10-1 新日本製鐵株式会社エレクトロニクス研究所内

(72) 発明者 浜田 直也

神奈川県相模原市淵野辺5-10-1 新日本製鐵株式会社エレクトロニクス研究所内

(72) 発明者 若狭 和式

千葉県君津市君津1番地 新日本製鐵株式会社君津製鉄所内

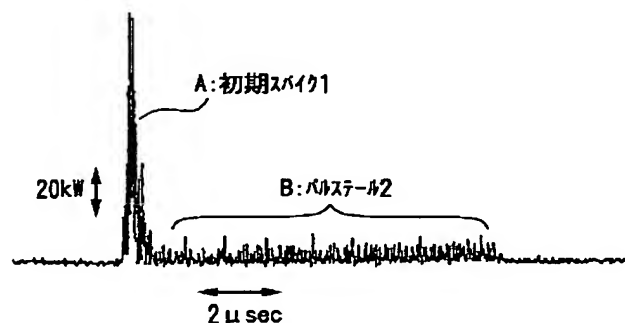
(74) 代理人 弁理士 田北 嵩晴

(54) 【発明の名称】 冷延ロール表面のダル加工方法

(57) 【要約】

【目的】 パルスレーザを用いて冷間圧延用のロール表面をダル加工する方法において、初期スパイク部分とパルステール部分から構成される高繰り返しパルスレーザを用いて、一台のレーザ発振器で深穴ダル加工を高速で実現する。

【構成】 レーザ発振器が、共振器内部にテレスコープレンズと回転チョッパーからなるQスイッチ装置を有するQスイッチCO<sub>2</sub>レーザであり、該発振器より放出されるレーザパルスが、初期スパイク1部分とパルステール2部分から構成されるパルスである。このパルスが、パルス全幅1～30μsec、ピークパワー5～300kW、パルス繰り返し周波数0.4～40kHzを有し、集光ピーク出力強度が40MW/cm<sup>2</sup>以上、1.0GW/cm<sup>2</sup>以下で照射することにより、加工穴が外径D:120～350μm、深さd:8～40μm、ピッチP:1.5D～5Dの間隔で、ダル穴加工を施す。



Qスイッチパルス波形

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 パルスレーザを用いて冷間圧延用のロール表面をオフラインダル加工する方法において、レーザ発振器が、共振器内部にテレスコープレンズと回転チョッパからなる Q スイッチ装置を有する Q スイッチ CO<sub>2</sub> レーザであり、該発振器より放出されるレーザパルスが、初期スパイク部分とパルステール部分から構成されるパルスであることを特徴とする、冷延ロール表面のダル加工方法。

【請求項 2】 前記レーザパルスが初期スパイク幅 10 0 n ~ 1 μ s e c、パルステール幅 0. 9 ~ 2 9 μ s e c、パルス全幅 1 ~ 3 0 μ s e c、ピークパワー 5 ~ 3 0 0 k W、パルス繰り返し周波数 0. 4 ~ 4 0 k H z を有し、その集光ピーク出力密度が 4 0 M W / c m<sup>2</sup> 以上、1. 0 G W / c m<sup>2</sup> 以下であることを特徴とする請求項 1 記載の冷延ロール表面のダル加工方法。

【請求項 3】 前記レーザパルスにより加工されたロール表面の加工穴が外径 D : 1 2 0 ~ 3 5 0 μ m、深さ d : 8 ~ 4 0 μ m、ピッチ P : 1. 5 D ~ 5 D の間隔で規則的な模様となることを特徴とした、請求項 1 または 2 記載の冷延ロール表面のダル加工方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は冷延ロール表面のダル加工方法に関するもので、圧延中のロール粗度を維持せしめ、耐摩耗性向上、ロール寿命延長を図るために、特に、冷間タンデム圧延機の間スタンドのロール表面に施すダル加工方法に関する。

## 【0002】

【従来技術】 従来、ロールのダル加工方法としては、ショットブラスト、放電加工等が用いられていたが、ロール表面のダル形態や凹凸寸法の再現性が悪く、均一な加工を施すことは困難であった。この問題を解決する方法として、パルスレーザによるダル加工が存在し、その方法特許、装置特許共に多数出願されている（特開昭 5 4 - 6 1 0 4 3 号公報、特開昭 5 4 - 1 5 8 7 9 8 号公報等）。

【0003】 ダルロールを作製する理由は、塗装鮮映性に優れた鋼板の作製を目的とする事が多いが、その他に、特開平 4 - 3 1 3 4 0 5 号公報のごとく、ロールの長寿命化を目的とする事がある。冷間圧延ロール長寿命化の実現には、ロールの摩耗量を減少させ、同時に鋼板とロールのかみつきが生じない範囲で摩擦係数を高める必要があり、その実現には、広ピッチ、深穴加工のダル加工を施すことが望ましい。その理由は、ピッチが狭いとロールの等価的圧下量が増加し、摩耗量が増大するため、及び、表面平均粗度 R a の大きなロールほど摩擦係数が高くなるためである。広ピッチの条件下で大きな平均粗度を維持するには、深穴加工が必須となる。また、鋼板の圧延中にロールの摩耗は進展するが、長期間にわ

たってロール表面粗度を維持する為にはダル部分の穴凹部の残存率を長期にわたって維持する必要があり、その観点からも、加工穴は深い程有利である。

【0004】 次にダルロールの加工処理時間について述べる。筆者らの知見では、従来ロールでの圧延可能距離は約 1 0 0 k m であり、圧延時間は約 3 時間である。オフラインでダル加工をタンデムミル中間スタンドに施すことを考えると 3 時間以内に 3 スタンドのロールにダル加工を施し、ロール組替え時間を確保しなければならない。ロール組替えには数分の時間を要するので、1 時間以内に 1 本のレーザ処理を終了する必要がある。余裕を持った作業の遂行には、処理時間は短い程好ましい。

【0005】 すなわち、本目的の実現には、高ピッチ深穴加工を短時間で言う技術が必須となる。上記の加工を効率よく実現するために、高パルスエネルギーかつ高繰り返しレーザを用いた加工が必要となる。一例として、6 6 5 m m 直径、2 2 0 0 m m 胴長の圧延ロールに 3 4 0 μ m ピッチのダル加工処理を 1 時間以内に完了するためには、約 4 x 1 0<sup>7</sup> 個の穴を開ける必要があり、そのために、1 1 k H z の発振周波数を有するレーザが必要となる。従来ダル加工に使用されていたレーザでは上記の短時間、深穴加工を実現することは困難であった。

【0006】 従来、ダル加工に利用されてきたパルスレーザは連続波 CO<sub>2</sub> レーザの外部チョッピングによるパルスレーザ（特開昭 5 5 - 9 4 7 9 0 号公報、特開平 1 - 2 1 5 4 0 4 号公報）、Q スイッチ Y A G レーザ（特開昭 5 4 - 1 5 8 7 9 8 号公報）等であった。パルスレーザとしては従来の Q スイッチ CO<sub>2</sub> レーザ、ノーマルパルス Y A G レーザ等のパルスレーザも存在するが、これらはダル加工には不适当であった。従来の Q スイッチ CO<sub>2</sub> レーザとしては共振器内に過飽和吸収体、電気光学素子等の透過型光学素子を挿入する方法および、回転ミラーを共振器内部に組み込む方法等が提案されている。ところが、共振器内に透過型光学素子を挿入する手法では、高平均出力レーザ光の透過に伴う発熱により光学素子が熱的に破損する等の問題が生じ、数 1 0 0 W の平均出力を取り出すことはできず、その結果、高パルスエネルギーと高パルス繰り返しを同時に実現することはできない。また、回転ミラーを共振器に組み込む方式でも、ミラーの高速回転制約により、1 0 k H z 以上の高繰り返しパルスを発生することは困難である。加えて、上記の Q スイッチ CO<sub>2</sub> レーザのパルス時間波形は、図 1 1 に示した Q スイッチ Y A G レーザ波形と時間幅は異なるが、その波形は類似しているため、後述する初期スパイクのみで構成される時間波形となり、穴加工には不适当である。また、ノーマルパルス Y A G レーザにおいても、フラッシュランプの放電繰り返し制約およびフラッシュランプ寿命（一般的に 1 0<sup>7</sup> ショット程度）に起因するメンテナンス頻度の問題から、実現は困難であった。

【0007】 ダル加工に適用されているレーザとして、まず始めに、外部チョッピングによるパルスCO<sub>2</sub>レーザの問題点を述べる。

【0008】 図8と図9には特開平1-215404号公報に記載された外部チョッピングによるパルスCO<sub>2</sub>レーザの装置図とダル加工が示されており、その代表的な時間波形例を図10に示す。このパルスレーザは連続波レーザを時間的にチョッピングする為時間波形は矩形波となり、そのピーク強度は、図10に示すごとく基本的には連続波レーザの場合と同等であり数kWレベルである。このレーザを用いた穴加工の特徴は、スリット開放時間を延ばすことにより、大パルスエネルギーを取り出し、楕円加工を施すところにある。しかし、パルス時間幅を制御してパルスエネルギーを変化させても、単位面積あたりに導入されるパルスエネルギー密度が等しいために、基本的にはほぼ一定の穴深さの加工しか実現できない。よって、深穴加工と穴径の同時制御が必要とされるロールの長寿命化という目的には上記従来レーザは使用できない。

【0009】 また、外部チョッピングのそのほかの問題点を述べる。レーザ光をチョッパーで遮っているときの光エネルギーはチョッパーにより反射されているため、加工に使用されるパルスエネルギーはレーザ出力の一部であり、発振器に導入する電気エネルギーに対する加工効率という点では、かなり効率の悪いものになる。加えて、光を遮っているときは常にレーザ光がチョッパーに照射されるため、チョッパーにダメージが発生し易く頻度の高いメンテナンスを要求するという欠点がある。

【0010】 次の従来例として音響光学素子を用いた高繰返しQスイッチYAGレーザの場合について述べる。QスイッチYAGレーザの典型的な時間波形は、図11に示すごとくパルス半値幅が数100nsecの短パルスである。音響光学素子を用いたQスイッチ発振の原理は、音響光学結晶に電気変調を加えて結晶中に音波の疎密波を発生させ、音波の粗密波による光の回折効果を用いて時間的に共振器損失を与えることにより、パルス発振を行うものである。大パルスエネルギーを得るべく、強励起を行うと、光の回折による共振器損失よりも共振器利得の方が高くなり本来パルス発振が抑制されるべき時にもレーザ発振が持続することになる。つまり、パルス発振に連続発振成分が重畳してしまう。なお、この現象は繰返し周波数を高くするほど顕著になる。この連続発振成分はロール回転方向に連続的に照射されるため、外部チョッパーによるパルスCO<sub>2</sub>レーザの場合と同様に、エネルギーのロール回転方向への分散が生じ、穴加工には与せず単なるエネルギー損失となってしまう。よって、この場合深穴加工は困難となる。よって、単一パルスとしての出力エネルギーの上限は数10mJ程度が限界となる。図12は一般的な市販QスイッチYAGレーザパルス出力の繰返し周波数依存性であ

る。図より、繰返し周波数10kHzでのパルスエネルギーは10mJ弱となり、この程度のパルスエネルギーでは、5μm程度の深さの穴加工しか実現できず、ロール長寿命化の目的には適用できない。高繰返しにおけるQスイッチYAGレーザの低パルスエネルギーを克服するために、複数レーザの重ね合わせを実施する例もあるが、高々10μm程度の穴加工を実現しているに過ぎない。さらに、装置の大型化、メンテナンス頻度の増加等の実作業に関する問題点があり、高繰返しQスイッチYAGレーザはロール寿命延長のための装置としては好ましくない。

#### 【0011】

【発明が解決しようとする課題】 本発明の目的は、パルスレーザを用いて冷間圧延用のロール表面をダル加工する方法において、外部チョッパーによるパルスCO<sub>2</sub>レーザ、あるいは波形制御擬似QスイッチパルスYAGレーザを用いた場合に生じるロール回転方向へのエネルギー拡散がなく、また、パルスエネルギーの小さなQスイッチYAGレーザを用いた場合の加工限界を克服する冷延ロール表面に深穴ダル加工を高速に、且つ再現性良く実現するレーザダル加工方法を提供することにある。

#### 【0012】

【課題を解決するための手段】 本発明は、パルスレーザを用いて冷間圧延用のロール表面をダル加工する方法において、レーザ発振器が、共振器内部にテレスコープレンズと回転チョッパーからなるQスイッチ装置を有するQスイッチCO<sub>2</sub>レーザであり、該発振器より放出されるレーザパルスが、初期スパイク幅1n~1μsecパルスステール幅0.9~29μsec、パルス全幅1~30μsec、ピークパワー5~300kW、から構成されるパルスであり、その集光ピーク出力密度が40MW/cm<sup>2</sup>以上、1.0GW/cm<sup>2</sup>以下であり、パルス繰返し周波数0.4~40kHzを有することで、被加工ロール表面に一時間以内で加工穴が外径D:120~350μm、深さd:8~40μm、ピッチP:1.5D~5Dの間隔で規則的な模様を施す、冷延ロール表面のダル加工方法である。

#### 【0013】

【作用】 以下に本発明を詳細に説明する。図1に本発明によるパルス時間波形を示す。本発明によるパルスは初期スパイク部分1とパルスステール部分2から構成されており、その詳細な説明は後述する。図2は本発明ダル照射方法の概要図であり、後述するレーザ発振器3、ペンダミラー4、ノズル5、集光レンズ6、一軸ステージ7、被加工ロール8、ロール回転装置9から構成され、後述するレーザビーム10が従来法と同様の手法で被加工ロール8に集光照射される。

【0014】 この時のダル加工形状について説明する。ロール寿命延長のためには深穴、広ピッチが有効であることは従来欄で述べたが、図3(a)(b)に圧延距離

の穴深さ（穴径  $150\mu\text{m}$  時）、穴径（穴深さ  $10\mu\text{m}$  時）依存性を示す。穴深さは  $5\mu\text{m}$  よりも深いときに通常ロールよりも圧延距離が延びて、 $20\mu\text{m}$  以上では圧延距離は飽和することがわかる。よって、この範囲内であれば圧延距離は有効に延びるが、圧延とともにロール表面が約  $5\mu\text{m}$  摩耗することを考慮して、穴深さ  $d$  は  $8\sim 40\mu\text{m}$  の範囲が必要である。

【0015】また、穴径は  $100\mu\text{m}$  以上で通常ロールよりも圧延距離が延び、 $250\mu\text{m}$  以上で飽和し、これ以上大きな穴を開けても圧延距離は改善しない。しかし、ダル加工断面図は図4に示されるように円錐台であり、ロール表面の  $5\mu\text{m}$  の摩耗と共に約2割穴径も減少する事を考慮し、穴径  $D$  は  $120\sim 350\mu\text{m}$  の範囲が必要である。なお、これ以上の大径、深穴加工は過大なレーザ入熱を要求するため、単一レーザで短時間で処理を完了するという目的を考えると現実的ではない。

【0016】次に、加工ピッチが密になるとダル山部分が重なり合う状況が生じ、突起部分の表面積はかなり小さくなるため等価的な圧下率が高くなり、摩耗量が増加する。逆に、ピッチが  $5D$  よりも広くなると、大径、深穴加工を施しても平均粗度  $R_a$  は通常ロール以下となることから、ピッチ  $P$  は  $1.5D\sim 5D$  の範囲が必要である。

【0017】次に本発明によるQスイッチCO<sub>2</sub>レーザの時間波形について図1を用いて詳細に説明する。図1中のAの領域が短パルス・高ピークを有する初期スパイク1部分、Bの領域が長パルス・低ピークを有するパルステール2部分であり、この2成分から構成されることが本発明の特徴である。CO<sub>2</sub>レーザの利得媒質には二酸化炭素、窒素、ヘリウムの混合ガスを用いるが、上記パルスはこの前2者のガスを効率よく使って実現されるものである。本発明によるレーザパルスは図5に示すごとく、共振器内部にテレスコープ11、12を有し、その共焦点位置に回転チョッパー13を配備するQスイッチデバイスにより発生されるQスイッチパルスである。なお、レーザ共振器はリアミラー14と、CO<sub>2</sub>レーザの波長の光をほぼ完全に透過するコーティングを施したウィンドウ15、テレスコープレンズ11、12、及び回転チョッパー13、出力ミラー16から構成され、リアミラー14とウィンドウ15間（図5の斜線部分）に利得媒質である、二酸化炭素、窒素さらにヘリウムガスが充填されている。

【0018】Qスイッチパルスの初期スパイク1は主に放電励起によりCO<sub>2</sub>分子が直接レーザ上準位に励起されることで形成されたレーザ利得による発振であり、パルステール2はCO<sub>2</sub>分子での回転準位緩和及び励起N<sub>2</sub>分子からCO<sub>2</sub>分子へのエネルギー移剰による発振である。Qスイッチレーザの初期スパイク1のピーク値は、主にQスイッチを行う瞬間のレーザ利得とQスイッチ速度（チョッパー13の回転速度）で決定されるという特

徴がある。また、パルステール2長さはQスイッチ開放時間で決定される。直接励起された二酸化炭素の上準位寿命は  $500\mu\text{sec}$  弱と短い、窒素の上準位寿命は  $\text{msec}$  程度とかなり長く、窒素分子から二酸化炭素分子への分子間衝突によるエネルギー移剰によって、等価的な二酸化炭素上準位寿命が  $\text{msec}$  レベルまで長くなる。その結果、初期スパイク1終了後も連続波出力程度のパワーを持続することが可能であり、回転チョッパー13のスリットによって、パルスが切り落とされるまでパルステール2発振が継続する。つまり、回転チョッパー13の回転速度および、放電励起強度により初期スパイク1の制御が可能であり、Qスイッチを閉じることでレーザ発振を停止させ、パルステール2長を任意の時間に制御することが可能である。すなわち、回転チョッパー13のスリット幅とチョッパー回転速度でパルス時間波形の制御が可能である。スリット幅を狭くし、チョッパー13の回転速度を速めることにより、パルステール2が殆ど存在しない短パルスが得られ、スリット幅を広げ、チョッパー回転速度を遅くすることで、パルステール2主体の長パルスを得ることが出来る。また、パルス発振周波数は回転チョッパー13のスリット数とチョッパー回転速度で制御可能であり、筆者らは  $90\text{kHz}$  までの高繰返しQスイッチ発振を確認している。以上の説明より、上記パルスレーザが高速ロール処理に有効であるため、ダル加工による冷延ロールの長寿命化に適用可能である事がわかる。この様なパルス波形の制御は、共振器内部にテレスコープ11、12と回転チョッパー13を配備したQスイッチCO<sub>2</sub>レーザで実現されるものであり、連続波CO<sub>2</sub>レーザの外部チョッパーによるパルスレーザや、従来のQスイッチYAGレーザでは実現できない。

【0019】次に穴加工のプロセスについて説明する。定性的には、ロール8表面に初期スパイク1が照射されると、初期スパイク1のピーク強度により金属表面が溶融、蒸発を開始する。次にパルステール2部分が被加工物に到達すると、数  $\mu\text{sec}$  程度の時間範囲でゆっくり熱を加えることにより初期溶融相が蒸発し、更に深部の金属が溶融蒸発を開始する。深部の溶融金属は図2に示されるノズル5より噴出されるアシストガスの圧力によって穴周辺部に吹き飛ばされるため、さらなる深穴加工が実現される。

【0020】図6はロール8上でのパルスエネルギー  $50\text{mJ}$ 、集光径  $140\mu\text{m}$  の時の、初期スパイク1のピーク出力密度に対する加工穴深さ特性である。この図によれば、 $1.0\text{GW}/\text{cm}^2$  以上のピーク出力密度を導入すると、初期スパイク1により生じる逆制動輻射吸収によって、パルステール2エネルギーがロール8表面に到達せず、 $8\mu\text{m}$  以上の深穴加工が実現できないことがわかる。また、 $40\text{MW}/\text{cm}^2$  以下のピーク出力密度以下では、 $50\text{mJ}$  を確保するためのパルス時間幅が4

0  $\mu$  s e c 程度となり、後述するようにパルスエネルギーのロール8への伝熱によって、8  $\mu$  m以上の深穴加工は実現されない。よって、パルス照射に当たって、ピーク出力密度は40 MW/c m<sup>2</sup>以上、1.0 GW/c m<sup>2</sup>以下である必要がある。

【0021】この場合の、初期スパイク1ピーク出力は154 kWであるが、ピーク出力の上限値は集光径に依存する。ダル加工径350  $\mu$  mを考え、集光径を350  $\mu$  mにした場合は、920 kW弱までのピーク出力上限値が許されるが、この値は発振器能力限界から考えて現実的ではない。また、高ピーク出力実現の為に強励起を行うと、レーザパルスの初期スパイク1後に小さなパルスが複数重畳するマルチパルス現象が生じ、本目的のパルス波形から逸脱してしまう。このマルチパルスが生じるピーク出力は300 kW強であり、以上の説明から現実的なピーク出力上限値は300 kWとなる。次にピーク出力下限値について説明する。筆者らの知見によると、パルス全幅が30  $\mu$  s e c以上の長パルス照射を行うと、加工が進行する以前にパルスエネルギーが伝熱によりロール8内部に拡散する結果、深穴加工が実現できないことがわかっている。30  $\mu$  s e c、5 m Jのパルスで照射したときの穴深さは8  $\mu$  m以下であった。このとき、5 m Jパルスのピーク出力は5 kWであり、加工深さ要求より、本発明を実現するためのピーク出力下限値は5 kWが適当である。以上の結果より、初期スパイク1のピーク出力は5~300 kWが必要である。ちなみに、350  $\mu$  m穴径の加工は、30  $\mu$  s e c、150 m Jパルスで達成された。

【0022】次にパルス時間幅について説明する。前述したごとく、パルスエネルギー50 m Jパルス全幅が30  $\mu$  s e c以上の長パルス照射を行うと、加工が進行する以前にパルスエネルギーが伝熱によりロール8内部に拡散する結果、加工性能が劣化する。また、パルス全幅が1  $\mu$  s e c以下の短パルスでは、パルスエネルギーを占める初期スパイク1成分が増加することにより、プラズマ影響により加工性能が著しく劣化する。よって、パルス全幅は1~30  $\mu$  s e cが適当である。

【0023】また、初期スパイク1とパルステール2の比は前述したごとく、回転チョッパー13のスリット幅とチョッパー回転速度および、励起強度で制御可能であるが、本発明で使用する5~150 m Jのパルスエネルギーを実現すると、初期スパイク9は100 n~1  $\mu$  s e cの範囲となり、その結果、パルステール10は0.9~29  $\mu$  s e cの時間幅となる。

【0024】更に、パルス繰り返し周波数は、ダル加工要求ピッチより決定される。胴長2200 mm、直径665 mmのロールに最小径120  $\mu$  mのダル穴を最小ピッチ180  $\mu$  mで1時間以内に処理するためには39.4 kHzの発振周波数が要求され、最大径350  $\mu$  mのダル穴を最大ピッチ1.75 mmで1時間以内に処理す

るためには0.42 kHzの発振周波数が要求される。よって、本発明の実現のためには0.4~40 kHzの発振周波数が必要である。この発振周波数は回転チョッパー13のスリット数とチョッパー回転速度で充分制御が可能である。

#### 【0025】

【実施例】本発明によるダル加工実施例を説明する。図4は本発明によるダル加工穴の断面図である。本実施例のダル加工を施したレーザ特性はパルス時間幅9.8  $\mu$  s e c、ピークパワー125 kW、パルス繰り返し周波数6 kHz、パルスエネルギー50 m Jであり、そのパルス波形は図1に示されている。焦点距離2.5インチのZ n S e 製集光レンズ4で集光照射を行った。なお、アシストガスとして窒素を使用した。また、被加工物はクロムを5%含有するタンデムミル用の胴長2200 mm、直径665 mmの冷間圧延ロール6であり、本実施例においては約250  $\mu$  m径、約30  $\mu$  m深さ、500  $\mu$  mピッチのダル加工を処理時間51分で実現した。本実施例ロールの圧延前平均粗度R aは1.7  $\mu$  mであり、図7に示すごとく本実施例においては圧延可能距離が250 kmとなり、グラインダー研削で作製したR a=1.2  $\mu$  mの通常ロールと比較して約2.5倍の寿命延長効果を確認した。

#### 【0026】

【発明の効果】以上説明したように、パルスレーザを用いて冷間圧延用のロール表面をダル加工する方法において、本発明により、一台のレーザ発振機で、深穴加工を高速に、且つ再現性良く実現することが可能となり、冷間圧延可能距離が上昇し、ロール寿命延長効果が得られた。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係わる、レーザパルス波形の模式図であり、実施例で使用したレーザパルス波形である。

【図2】本発明に係わる、レーザ照射方法の模式図である。

【図3】本発明の作用を説明するための図である。

【図4】本実施例によるダル加工穴の断面図である。

【図5】本発明に係わる、レーザ発振方法の模式図である。

【図6】本発明の作用を説明するための図である。

【図7】本実施例の圧延結果を示す図である。

【図8】従来例によるレーザ照射方法の模式図である。

【図9】従来例によるダル加工形状の模式図である。

【図10】従来例のパルスC O<sub>2</sub>レーザのパルス時間波形の模式図である。

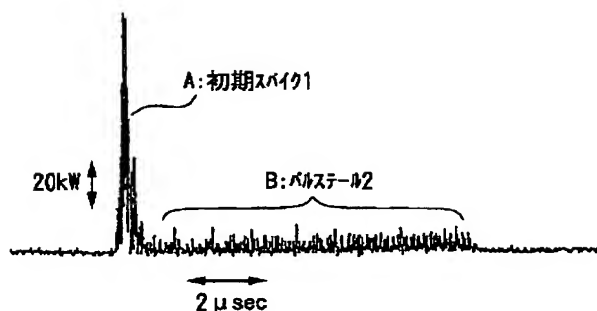
【図11】従来例のQスイッチY A Gレーザのパルス時間波形である。

【図12】従来例のQスイッチY A Gレーザのパルスエネルギーの発振周波数依存性である。

#### 【符号の説明】

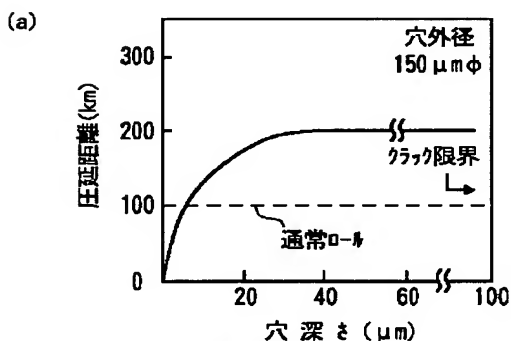
- 1 初期スパイク
- 2 パルステール
- 3 レーザ発振器
- 4 ベンドミラー
- 5 ノズル
- 6 集光レンズ
- 7 一軸ステージ
- 8 ロール

【図1】

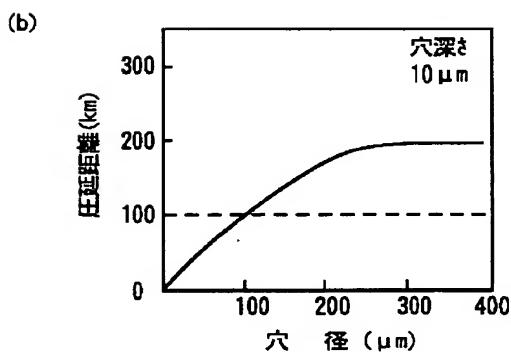


Qスイッチパルス波形

【図3】



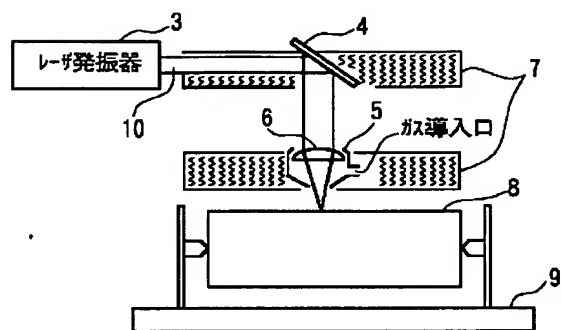
圧延距離の穴深さ依存性



圧延距離の穴径依存性

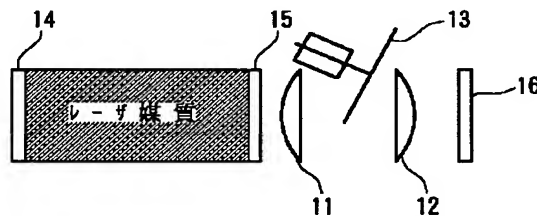
- 9 ロール回転装置
- 10 レーザビーム
- 11, 12 テレスコープレンズ
- 13 回転チョッパー
- 14 リアミラー
- 15 ウィンドー
- 16 出力ミラー
- 17 従来技術の連続波CO<sub>2</sub>レーザ発振機

【図2】

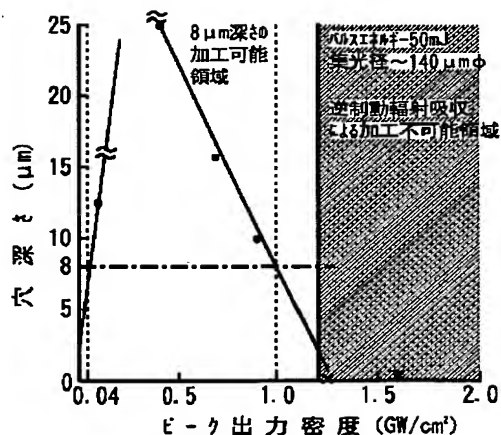


レーザ光照射方法模式図

【図5】

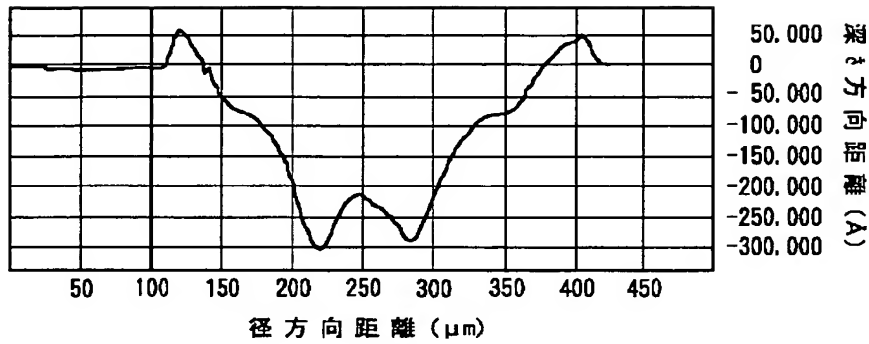
QスイッチCO<sub>2</sub>レーザ発振器模式図

【図6】



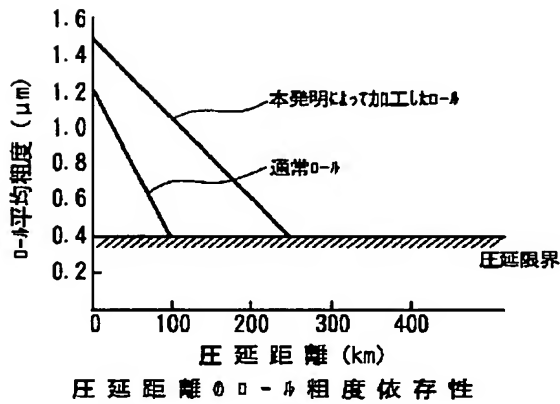
穴深さのピーク出力密度依存性

【図 4】

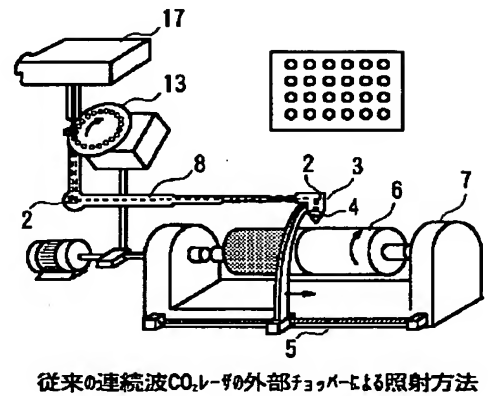


タリ加工穴断面図

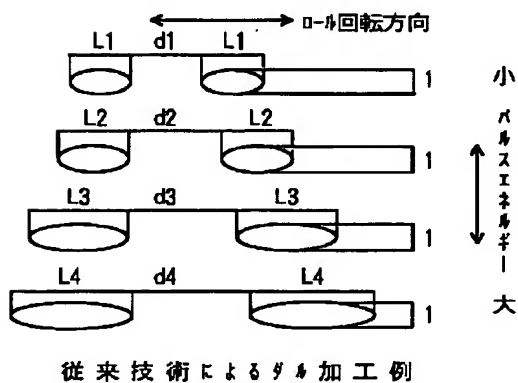
【図 7】



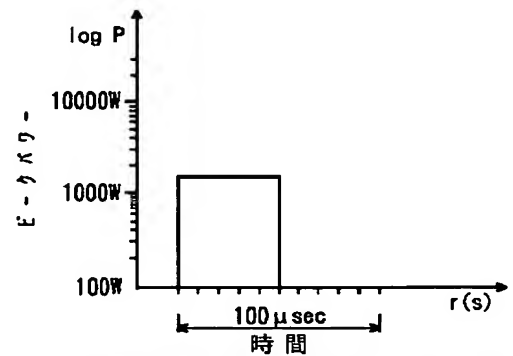
【図 8】



【図 9】

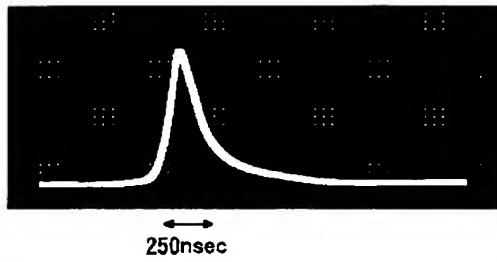


【図 10】



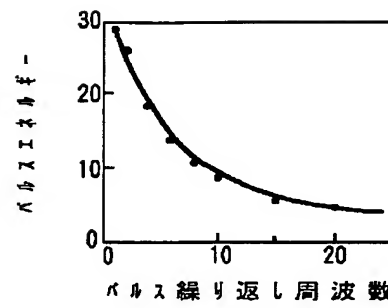


【図 1 1】



QスイッチYAGレーザの典型的パルス波形

【図 1 2】



高繰り返しQスイッチパルスレーザ, パルスエネルギー-パルス繰り返し周波数依存性